

УДК 624.012.45

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОШКОДЖЕНОСТІ БЕТОНУ

Олійник Н. В.¹, Якушева Ю. В.¹

¹Одеська державна академія будівництва та архітектури

Анотація: У статті розглядаються питання щодо отримання будівельних матеріалів і устаткування з заданими параметрами якості при зниженій матеріаломісткості. Показано, що одним із можливих шляхів зниження матеріаломісткості конструктивних будівельних матеріалів є застосування наповнювачів.

В даній статті розглядаючи бетон як конструкційний матеріал та зазначено, що саме формування конструкції чи виробу саме важко проконтролювати його кількісні та якісні параметри але практично можливо лише отримавши готовий виріб чи конструкцію.

Властивості конструкції визначаються як індивідуальними властивостями всіх підсистем (бетону, арматури), і змінами цих властивостей при всередині структурних взаємодіях. У свою чергу, матеріал конструкції (бетон) є підсистемою, яка складається з характерних структурних неоднорідностей.

Оскільки склад бетону впливає на структуру, характеристики міцності та деформативні властивості залізобетонних конструкцій, що працюють під впливом зовнішніх впливів, існує необхідність більш досконалого вивчення його та визначення оптимальних складових з метою забезпечення експлуатаційної надійності конструкцій.

У період технологічної переробки бетону у виробі на всіх рівнях структурних неоднорідностей у матеріалі виникають технологічні тріщини, які, будучи структурними параметрами бетону, визначають пошкодженість конструкцій, і тим самим - і їх експлуатаційну надійність.

Дослідженнями встановлено, що технологічна пошкодженість істотно впливає на міцнісні та деформативні властивості бетону.

Ключові слова: бетон, будівельні матеріали, технологічна пошкодженість, деформативні властивості бетону.

FEATURES OF ASSESSMENT OF TECHNOLOGICAL DAMAGE OF CONCRETE

N. Oliynuk¹, Yu. Yakusheva¹

¹Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract: The article deals with the issue of obtaining building materials and equipment with specified quality parameters with reduced material consumption. It is shown that one of the possible ways to reduce the material density of structural building materials is the use of fillers.

In this article, considering concrete as a structural material, it is stated that it is the formation of the structure or product that is difficult to control its quantitative and qualitative parameters, but it is practically possible only after receiving the finished product or structure.

Properties of the structure are determined as individual properties of all subsystems (concrete, reinforcement), and changes in these properties during structural interactions. In turn, the construction material (concrete) is a subsystem that consists of characteristic structural inhomogeneities.

Since the composition of concrete affects the structure, strength characteristics and deformable properties of reinforced concrete structures operating under the influence of external influences, there



is a need for a more thorough study of it and the determination of optimal components in order to ensure the operational reliability of structures.

During the technological processing of concrete into products, at all levels of structural inhomogeneities in the material, technological cracks appear, which, being the structural parameters of concrete, determine the damage of structures, and thus their operational reliability.

Research has established that technological damage significantly affects the strength and deformation properties of concrete.

Keywords: concrete, building materials, technological damage, deformable properties of concrete.

1 ВСТУП

В останні роки розвиток міст України залежить від таких соціальних проблем, як будівництво житла, створення транспортних мереж та інфраструктури життєзабезпечення. Шляхи рішення цих проблем продиктовані, в першу чергу, вимогами екології в поєднанні з енергетичним забезпеченням, а значить, і їх економікою.

Якість та експлуатаційна надійність конструкції значною мірою залежить від матеріалів, з яких вона виготовлена. Несуча здатність конструкції визначається здатністю матеріалу продовжувати виконувати свої функції в нових умовах.

Тому актуальним залишається завдання отримання будівельних матеріалів і устаткування з заданими параметрами якості при зниженій матеріаломісткості. Одним із шляхів зниження матеріаломісткості конструктивних будівельних матеріалів і є застосування наповнювачів.

До наповнювачів відносять частинки довільних форм і поверхневої активності, розмір яких не дозволяє їм створювати в навколишньому в'язучому полі деформацій і напружень і викликає їх участь у процесах організації структури елементарних структурних елементів в'язучого.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В силу особливостей своєї будови бетон є багатокомпонентним і багатофазовим полікристалічним утворенням, що має розвинену систему макро- і мікродфектів, що виникають у структурі при формуванні.

Оскільки бетон як конструкційний матеріал формується безпосередньо в самій конструкції чи виробі, проконтролювати його кількісні та якісні параметри практично можливо лише отримавши готовий виріб чи конструкцію.

Незважаючи на майже двохсотлітній досвід застосування і значні обсяги використання, з яким не може зрівнятися жодний композиційний матеріал, залізобетон в даний час все ж є далеко не до кінця вивченим. Потрібні уточнення розрахунку конструкцій з метою якнайповнішого врахування факторів, що впливають на їх роботу під навантаженням.

Властивості конструкції визначаються як індивідуальними властивостями всіх підсистем (бетону, арматури), і змінами цих властивостей при серединних взаємодіях. У свою чергу, матеріал конструкції (бетон) є підсистемою, яка складається з характерних структурних неоднорідностей. Тому для розгляду композиційних будівельних матеріалів (КБМ) їх доцільно представляти як складноорганізовані системи, організовані за принципом "структура в структурі" або "композит у композиті". Це дозволяє уявити КБМ, як складні системи, що самоорганізуються, з ієрархічною супідрядністю різних рівнів структурних неоднорідностей, з якісно відмінними механізмами структуроутворення. Експлуатаційні навантаження, що діють на конструкцію, викликають у ній деформації та напруги, які матеріал сприймає та перерозподіляє між власними структурними елементами. Несуча здатність конструкції визначається здатністю матеріалу продовжувати виконувати свої функції в нових умовах.

Таким чином, структуру конструкції можна представити різними моделями, вид яких залежить від поставленої мети аналізу та вивчення її поведінки при дії експлуатаційних навантажень. Опис структури конструкції дозволяє виділити найважливіші елементи, що визначають несучу здатність окремих її частин, усієї

конструкції у складі собі подібних, розкрити роль матеріалу в роботі, визначити шляхи спрямованого проектування матеріалу для конкретної конструкції.

У композиційних матеріалах та конструкціях у загальному випадку можна виділити кілька характерних видів пошкодженості, що відрізняються за механізмами утворення [1, 2]:

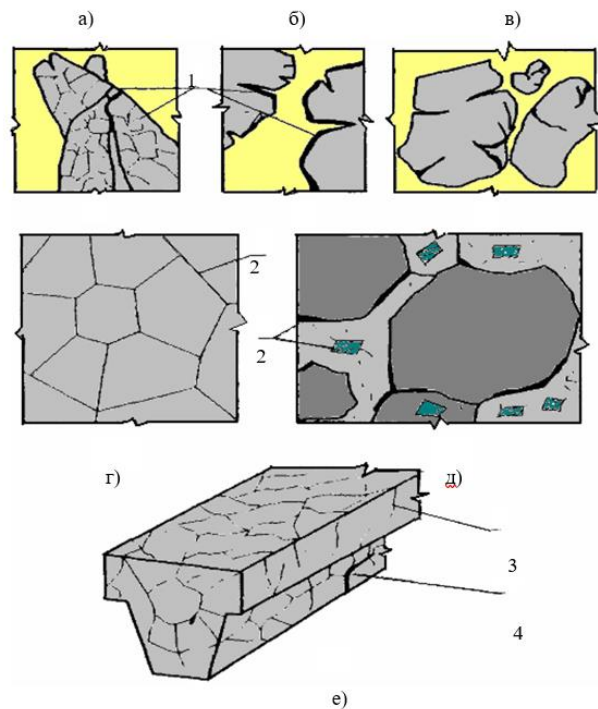


Рис. 1. Характер пошкодженості кристалів (а), зерен цементу (б), дрібних заповнювачів (в), цементного каміння (г), бетону (д) та конструкцій (е):

- 1 – тріщини у вихідних компонентах;
- 2 – тріщини, що виникли при утворенні структури матеріалів;
- 3 – тріщини, що утворилися за рахунок геометричних особливостей конструкції;
- 4 – експлуатаційні тріщини

– пошкодженість окремих компонентів, яка привноситься з ними в матеріал і конструкцію (початкова);

– пошкодженість, що виникає в період технологічної переробки вихідних складових в матеріал і його в конструкцію (технологічна), рис. 1.;

– пошкодженість, що виникає при дії на матеріал конструкції експлуатаційних навантажень (експлуатаційна).

Оскільки склад бетону впливає на структуру, характеристики міцності та деформативні властивості залізобетонних конструкцій, що працюють під впливом зовнішніх впливів, існує необхідність більш досконалого вивчення його та визначення оптимальних складових з метою забезпечення експлуатаційної надійності конструкцій. У період технологічної переробки бетону у виробі на всіх рівнях структурних неоднорідностей у матеріалі виникають технологічні тріщини, які, будучи структурними параметрами бетону, визначають пошкодженість конструкцій, і тим самим - і їх експлуатаційну надійність. Сучасний етап дослідження показує, що технологічна пошкодженість особливо впливає на деформаційні властивості залізобетонних елементів. Застосування наповнювачів, оптимальних за видом, кількістю та дисперсністю, дозволяє керувати технологічним пошкодженням бетонних та залізобетонних конструкцій, що дозволяє підвищувати їх фізико-технічні характеристики.

Експлуатаційні навантаження, що діють на конструкцію, викликають у ній деформації та напруження, які матеріал сприймає та перерозподіляє між власними структурними елементами. Несуча здатність конструкції визначається здатністю матеріалу продовжувати виконувати свої функції у нових умовах.

Руйнування бетону завжди пов'язане з накопиченням пошкоджень початкової структури бетону на різних рівнях і поглинанням енергії деформації, з подальшим виділенням її на поверхню новостворених тріщин руйнування [2].

Об'єктом аналізу є дефекти, що виникли у період технологічної переробки отримання будівельних матеріалів та конструкцій. Подібні дефекти віднесені до технологічних, начальних або спадкових дефектів. Відповідно до [2], до технологічних (спадкових) дефектів можна віднести дефекти (пори, капіляри, тріщини різних видів і т.п.), які виникають у період отримання матеріалу та конструкції деякі присутні в них до прокладання експлуатаційних навантажень. Так як механічні характеристики композиційних матеріалів, включаючи будівельні, значною мірою визначаються тріщинами, то в подальшому ми під технологічними дефектами будемо розуміти тріщини, які виникають у матеріалі будівельних конструкцій у період організації структури і які існують у ньому до додатку зовнішніх навантажень. При цьому передбачається, що тріщини, що виникають у матеріалі, автоматично стають тріщинами конструкції та визначають тим самим її тріщиностійкість, деформативність та несучу здатність. Наприклад, у збірних залізобетонних елементах частка тріщин технологічного походження від загальної кількості дефектів досягає близько 60% [2].

Проведені дослідження підтвердили, що експлуатаційні тріщини розвиваються з технологічних. Можна припустити, що експлуатаційні тріщини завершують дроблення матеріалу на великі блоки. Це характерно для складів із незначним накопиченням дефектів у перші цикли зволоження - висушування. Оскільки бетон є матеріалом типу «структура в структурі», де кожен великий блок складається зі співдружності дрібніших, то можна припустити, що об'ємні деформації шкірного такого блоку можуть призвести до його дроблення на підблоки. При цьому малюнок тріщин усередині блоку повторює малюнок тріщин на більш високому масштабному рівні. Таке дроблення структурних блоків призводить до інтенсивного розвитку експлуатаційних тріщин.

Фізико-механічні властивості композиційних матеріалів значною мірою залежать від ступеня дефектності їхньої структури. Ці дефекти, розділені на технологічні (або спадкові) та експлуатаційні, мають власну історію розвитку: від зародження до перетворення на необоротну розвивається тріщину. Спадкові дефекти є не тільки відповідальними за забезпечення необхідних фізико-механічних характеристик, а й визначають кінетику розвитку експлуатаційних дефектів і, отже, експлуатаційну довговічність композитних матеріалів та конструкцій.

Оскільки механічні характеристики композиційних матеріалів у значній мірі визначаються тріщинами, то надалі вважаємо, що саме тріщини визначають пошкодженість матеріалу, а, отже, і конструкції.

Спрямована зміна технологічної пошкодженості дозволяє змінювати характер тріщино утворення та руйнування конструкції. Застосування мінерального наповнювача у певних кількостях і певної дисперсності дозволяє керувати процесами організації структури бетону та регулювати його початкові об'ємні зміни, а отже, і технологічну пошкодженість з метою отримання будівельних конструкцій з необхідними властивостями.

Мінеральні наповнювачі, впливаючи на фізико-механічні властивості цементного каміння, визначають його матеріаломісткість, що залежить від ефективності використання клінкерної частини цементу. Чим краще, повніше використовується потенційні властивості найдорожчого та енергоємного компонента цементних композицій, тим менше матеріаломісткість. Доведено можливість зниження

матеріаломісткості на 15...21% за рахунок застосування наповнювачів, оптимальних за образом та якісним складом.

До наповнювачів відносять частинки довільних форм і поверхневої активності, розмір яких не дозволяє їм створювати в навколишньому в'язкому полі деформацій і напружень і викликає їх долю в процесах організації структури матеріалу, що має певні властивості.

Теоретичною основою застосування малоактивних наповнювачів є той факт, що частинки цементу завбільшки більше 40 – 60 мкм гідратуються незначно навіть по закінченню кількох років твердіння цементного каміння і є, по суті, його баластною складовою, виконуючи роль мікронаповнювача. Тому значна частина великих зерен цементу може бути замінена без великих збитків для його якості приблизно такими ж за розмірами частками малоактивних речовин. Зміст хімічно інертних наповнювачів у складі цементу дозволяє також якось прискорити гідратацію клінкерних мінералів, що частково заповнює недолік цементу. І більш значним, якщо не основним критерієм необхідності застосування мінеральних наповнювачів, є економія дорогого якісного в'язучого – цементу.

Наповнювачі, що не містять хімічно активних компонентів (малоактивні мінеральні наповнювачі), не вступають у хімічні реакції з іншими складовими елементами цементного в'язучого та водою замішування.

Мінеральні наповнювачі, впливаючи на фізико-механічні властивості цементного каміння, визначають його матеріаломісткість, що залежить від ефективності використання клінкерної частини цементу. Чим краще, повніше використовується потенційні властивості найдорожчого та енергоємного компонента цементних композицій, тим менше матеріаломісткість. Доведено можливість зниження матеріаломісткості на 15...21% за рахунок застосування наповнювачів, оптимальних за образом та якісним складом.

У практиці поширені два способи введення наповнювачів. У першому випадку – шляхом спільного помелу клінкеру та сировини наповнювачів, попередньо розмелених або отриманих у природному порошкоподібному стані, в іншому – наповнювачі вводять безпосередньо до складу бетонної суміші у процесі її приготування.

Проведений аналіз показав, що мінеральні наповнювачі є ефективним методом управління структуроутворенням конструкції.

3 ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Склад бетонної суміші наведено у таблиці 1. Введення наповнювача до складу бетонної суміші було виконано в процесі її виготовлення. Кількість та дисперсність наповнювача наведено у таблиці 2.

Таблиця 1

Склад бетону на $1 м^3$

Найменування	Позначення	Кількість, кг
Щебінь	Щ	1100
Пісок	П	717
Вода	У	140
Цемент	Ц	350

У якості наповнювача застосовувався кварцовий морський пісок з питомою поверхнею $100, 200, 300 м^2 / кг$, попередньо розмелений у кульовому млині. Кварцовий наповнювач перед помелом просіювався через сито з діаметром отворів $5 мм$, промивався і просушувався. При помелі наповнювача проводився підбір куль, що

мелють і встановлювався час помелу в залежності від отримання необхідної питомої поверхні, контрольованої приладом ПСХ-4. Введення наповнювача безпосередньо до складу бетонної суміші було виконано у процесі її приготування.

З метою дослідження початкової (технологічної) пошкодженості бетонних призм увагу зверталось на мережу поверхневих тріщин. Для більш якісної оцінки технологічної пошкодженості зразків проявлення тріщин здійснювалося після досягнення зразками віку 200...220 діб, після проходження карбонізації, тобто розвитку фізичних та хімічних процесів під дією на бетон атмосферного CO_2 у присутності вологості, коли поверхня бетону покривається мережею тонких тріщин. Поверхневі тріщини фіксувалися витримкою зразків у водних розчинах таніну протягом 30...40 хвилин, а після замочування – висувувалися у лабораторії протягом двох діб. Зміна лужності бетону в районі тріщин змінювала окрасу таніну, виявляючи і фіксуючи тріщини.

Таблиця 2

Дисперсність та кількість наповнювача в залежності від складу бетону

№ складу	Дисперсність наповнювача (S_y), м ² /кг			Кількість наповнювача (H), %
	100	200	300	
1	1	0	0	8
2	0	1	0	8
3	0	0	1	8
4	1	0	0	10
5	0	1	0	10
6	0	0	1	10
7	1	0	0	12
8	0	1	0	12
9	0	0	1	12

На призмах для визначення технологічної пошкодженості виділялися ділянки площею 10×10 см, на яких і визначалася кількісна оцінка технологічної пошкодженості виміром довжин поверхневих тріщин курвіметром з точністю до 1 мм (рис. 2.).

Коефіцієнт технологічної пошкодженості за площею (Kn_s) визначався за методикою [2], як відношення суми довжин поверхневих тріщин (T_0), виміряних у межах ділянки 10×10 см до площі цієї ділянки (S)

$$Kn_s = \sum \frac{T_0}{S} \left[\frac{см}{см^2} \right]. \quad (1)$$

Фізичний сенс полягає в оцінці питомої довжини поверхневих тріщин, виявлених на одиниці поверхні.

Коефіцієнт технологічної пошкодженості по лінії (Kn_L) прийнятий як відношення довжини характерної лінії (L), що перетинає структурні блоки, обмежені технологічними тріщинами, до суми довжин цих тріщин, що примикають T_0 з одного боку

$$Kn_L = \frac{L}{\sum T_0} \left[\frac{см}{см} \right]. \quad (2)$$

Фізичний зміст полягає в оцінці питомої довжини поверхневих тріщин, виявлених на одиниці довжини.

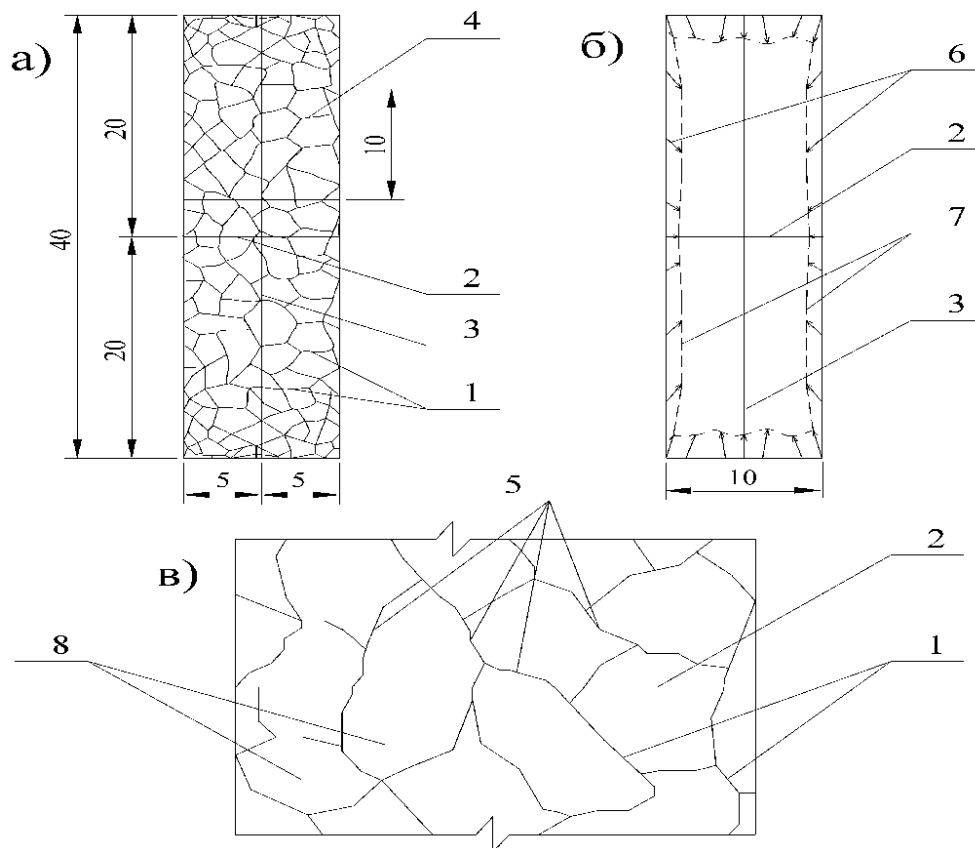


Рис. 2. Методика оцінки технологічної пошкодженості за бетонними призми:

а) розташування характерних ліній та площі на зразку-призмі з виявленим характером пошкодженості;

б) розподіл усадкових деформацій у зразку прямокутної форми;

в) фрагмент визначення коефіцієнта пошкодженості за характерною лінією (у поперечному перерізі);

1 – технологічні тріщини;

2, 3 – поперечна та поздовжня характерні лінії для визначення коефіцієнта пошкодженості по лінії (Kn_L);

4 – площа визначення коефіцієнта пошкодженості за площею (Kn_S);

5 – технологічні тріщини, що утворюють осередки, які перетинає характерна поперечна лінія (L);

6 – напрямок деформацій;

7 – епюра усадкових деформацій;

8 – структурні блоки

При введенні коефіцієнта технологічної пошкодженості по лінії (Kn_L) дотримувалися наочності, тобто зі збільшенням пошкодженості (зменшенням структурних блоків (осередків) і, отже, $\sum T_0$, що припадають на характерну лінію (L)), збільшується Kn_L .

Для дослідження напружено-деформованого стану бетону експериментальних зразків використовувалися дротові тензорезистори на паперовій основі з базою 50 мм та опором 400 Ом.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В результаті проведених досліджень по бічним граням призм були отримані довжини тріщин ($T_0, см$) та коефіцієнти технологічної пошкодженості за площею, які представлені у таблиці 3.

Величина технологічної пошкодженості, що виражена за допомогою коефіцієнта технологічної пошкодженості (Kn_s), що визначається за площею зразків-призм в залежності від кількості та якості наповнювача змінюється в межах від 0,65 до 1,36 см/см² (на 109,2%) і представлена у таблиці 3.

В результаті проведених досліджень по двох бокових гранях призм були отримані такі середні характеристики: коефіцієнт технологічної пошкодженості за площею, коефіцієнти технологічної пошкодженості в характерних перерізах призм (поздовжньому та поперечному), які представлені в таблиці 3.

Величина технологічної пошкодженості, виражена за допомогою коефіцієнта технологічної пошкодженості (Kn_s), визначеного за площею зразків-призм залежно від кількості та якості наповнювача змінюється в межах від 0,65 до 1,36 см/см² (на 109,2%) та представлена у таблиці 3.

Вплив кількості наповнювача на коефіцієнт технологічної пошкодження бетону, визначений за площею зразків-призм, відображено у таблиці 3 та рис. 3. При зміні від 8 до 10% від маси в'язучого і постійної дисперсності $Sy = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ призводить до зменшення коефіцієнта Kn_s від 1,36 до 0,88 см/см² (на 55,1%). Надалі зростання H до 12% спричинює збільшення коефіцієнта Kn_s до 1,16 см/см² (на 31,5%).

Таблиця 3

Коефіцієнти технологічної пошкодженості (Kn_L, Kn_s) (Kn_L, Kn_s) та довжини технологічних тріщин (T_0), визначені за призмами

№ складу	$H, \%$	$Sy, \text{ м}^2 / \text{кг}$	Поздовжній переріз ($L_{II} = 40 \text{ см}$)		Поперековий переріз ($L_{II} = 10 \text{ см}$)		Виділена площа ($S = 100 \text{ см}^2$)	
			$T_0, \text{ см}$	$Kn_L, \text{ см} / \text{см}$	$T_0, \text{ см}$	$Kn_L, \text{ см} / \text{см}$	$T_0, \text{ см}$	$Kn_s, \text{ см} / \text{см}^2$
1	8	100	100,3	0,399	27,3	0,367	136	1,36
2		200	113	0,354	29,3	0,341	125	1,25
3		300	135,7	0,295	35,3	0,283	78	0,78
4	10	100	127	0,315	32,2	0,311	88	0,88
5		200	120,6	0,332	32,5	0,308	99	0,99
6		300	142	0,282	38,5	0,260	65	0,65
7	12	100	112	0,357	30,8	0,325	116	1,16
8		200	110,3	0,363	31,4	0,318	106	1,06
9		300	129,8	0,308	33,5	0,299	73	0,73

Подібний характер зміни коефіцієнта Kn_s спостерігається також за постійної $Sy = 200 \text{ м}^2 / \text{кг}$: зниження Kn_s від 1,25 до 0,99 см/см² (на 26,7%) при зміні H від 8 до 10%, і збільшення Kn_s до 1,06 см/см² (на 7%) за подальшого зростання H до 12%. При постійній дисперсності $Sy = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ спостерігається аналогічний характер впливу H з плавнішою зміною коефіцієнта Kn_s , тобто із зменшенням від 0,78 до 0,65 см/см² (на 19,7%) при зміні H від 8 до 10 % та зростанням до 0,73 см/см² (на 12%) зі збільшенням H до 12%. Слід зазначити, що максимальні зміни коефіцієнта Kn_s простежуються за постійної $Sy = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$: зменшення на 55,1% (при збільшенні H від 8 до 10%) та збільшення на 31,5% (при варіації H від 10 до 12%)). Мінімальні зміни Kn_s

спостерігаються при зміні H від 10 до 12%: підвищення на 7% за $S_y = 200 \text{ м}^2 / \text{кг}$ і, відповідно, на 12% – для $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$.

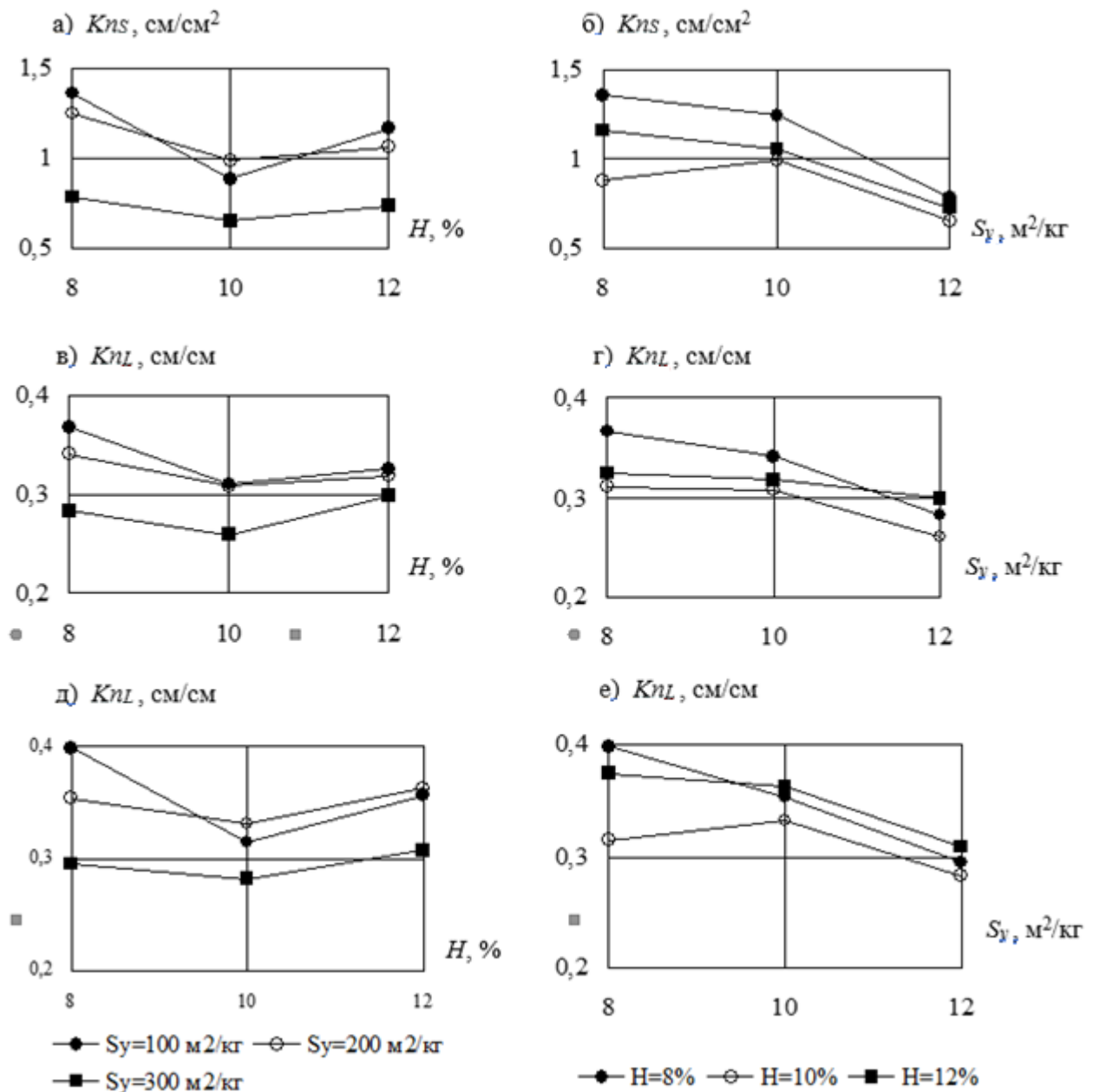


Рис. 3. Вплив кількості наповнювача (а, в, д) та дисперсності (б, г, е) на коефіцієнти технологічної пошкодженості бетону, визначені за площею K_{n_s} (а, б), по поперечному K_{n_L} (в, г) та поздовжньому перерізам призми K_{n_L} (д, е) при відповідних дисперсності та кількості наповнювача

Вплив якості наповнювача (дисперсності) на коефіцієнт технологічної пошкодженості бетону, визначений за площею зразків-призм, відображено на рис. 3. Зміна S_y від 100 до 200 $\text{м}^2 / \text{кг}$ за витратою $H = 8\%$ призводить до зменшення коефіцієнта K_{n_s} від 1,36 до 1,25 $\text{см}/\text{см}^2$ (на 8,8%). Подальше збільшення S_y до 300 $\text{м}^2 / \text{кг}$ спричиняє зниження величини коефіцієнта K_{n_s} до 0,78 $\text{см}/\text{см}^2$ (на 60,9%). При фіксованій кількості $H = 12\%$ спостерігається аналогічний характер впливу S_y , але з

більшою плавною зміною Kn_s : зниження від 1,16 до 1,06 см/см² (на 9,3%) при зміні S_y від 100 до 200 м²/кг та суттєвому зменшенні до 0,73 см/см² (на 45,2%) при збільшенні S_y до 300 м²/кг. При фіксованій кількості $H = 10\%$ зміна S_y від 100 до 200 м²/кг призводить до зростання Kn_s від 0,88 до 0,99 см/см² (на 12,5%). Подальше збільшення S_y до 300 м²/кг викликає різке зниження Kn_s до 0,65 см/см² (52,3%). Слід зазначити, що найбільші зміни коефіцієнта Kn_s (45,2; 52,3; 60,9%) спостерігаються при переході значення S_y від 200 до 300 м²/кг та постійному $H = 12, 10$ та 8% відповідно. Найменші – 8,8; 9,3; 12,5% – спостерігаються при зміні S_y від 100 до 200 м²/кг та постійному $H = 8, 12$ та 10% відповідно.

Таким чином, максимальне значення коефіцієнта технологічної пошкодженості бетону, визначеного за площею зразків-призм, досягається при кількості наповнювача $H = 8\%$ від маси в'язучого та дисперсності $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (1,36), а мінімальна – при кількості наповнювача $H = 10\%$ та дисперсності $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,65).

Величина технологічної пошкодженості, виражена за допомогою коефіцієнта технологічної пошкодженості, визначеного за поперечним перерізом зразків-призм, залежно від кількості та якості наповнювача, змінюється в межах від 0,26 до 0,367 (на 41,2%) та представлена в таблиці 3.

Вплив кількості наповнювача на коефіцієнт технологічної пошкодженості бетону, визначений по поперечному перерізу зразків-призм, відображено на рисунку 3, (див. також таблицю 3). Зміна від 8 до 10% від маси в'язучого при постійній дисперсності $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ призводить до зниження коефіцієнта Kn_L від 0,367 до 0,311 (на 18%). Подальше збільшення H до 12% спричинює підвищення коефіцієнта Kn_L до 0,325 (на 4,5%). Подібний характер зміни Kn_L спостерігається при постійній $S_y = 200 \text{ м}^2 / \text{кг}$: зменшення Kn_L від 0,341 до 0,308 (на 10,7%) при зміні від 8 до 10%, і зростання до 0,318 (на 3,3%) при збільшенні H до 12%. При незмінній дисперсності $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ має місце аналогічний характер впливу H : зменшення від 0,283 до 0,26 (на 8,9%) при зміні H від 8 до 10% і збільшення до 0,299 (на 15%) при зростанні H до 12%. Необхідно відзначити, що максимальні зміни Kn_L характерні: для $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ – зниження на 18% (при збільшенні від 8 до 10%) і для $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ – підвищення на 15% (при збільшенні H від 10% до 12%). Мінімальні зміни коефіцієнта Kn_L спостерігаються за зміни H від 10 до 12%: збільшення на 3,3% ($S_y = 200 \text{ м}^2 / \text{кг}$) та збільшення на 4,5% ($S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$).

Вплив якості наповнювача на коефіцієнт технологічної пошкодженості бетону, визначений за поперечним перерізом зразків-призм, відображено на малюнку 4.1 (г) (див. також таблицю 4.1). Зміна S_y від 100 до 200 м²/кг за його витрати 8% призводить до зменшення Kn_L від 0,367 до 0,341 (на 7,6%). Подальше збільшення S_y до 300 м²/кг спричиняє значне зменшення Kn_L до 0,283 (на 20,5%). При фіксованій кількості $H = 10\%$ зміна S_y від 100 до 200 м²/кг практично не призводить до зміни (зменшення Kn_L від 0,311 до 0,308 (на 0,1%)). Подальше збільшення S_y до 300 м²/кг викликає значне зменшення Kn_L до 0,26 (на 18,5%). При фіксованій кількості $H = 12\%$

спостерігаємо аналогічний характер впливу S_y з більш плавною зміною Kn_L , тобто із зменшенням від 0,325 до 0,318 (на 2,2%) при зміні S_y від 100 до 200 м²/кг та зменшенні до 0,299 (на 6,4%) зі збільшенням S_y до 300 м²/кг. Слід зазначити, що максимальні зміни Kn_L (18,5 та 20,5%) спостерігаються при зміні S_y від 200 до 300 м²/кг та постійному $H = 10$ та 8% відповідно. Мінімальні зміни Kn_L (0,1 та 2,2 %) спостерігаються при зміні S_y від 100 до 200 м²/кг та постійному $H = 10$ та 12% відповідно.

Звідси випливає, що максимальне значення коефіцієнта технологічної пошкодженості бетону, визначеного за поперечним перерізом зразків-призм, досягається при кількості наповнювача $H = 8\%$ від маси в'язучого та дисперсності $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,367), а мінімальне – при кількості наповнювача $H = 10\%$ та дисперсності $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,26).

Величина технологічної пошкодженості, виражена за допомогою коефіцієнта технологічної пошкодженості, визначеного поздовжнього перерізу зразків-призм, в залежності від кількості та якості наповнювача змінюється в межах від 0,282 до 0,399 (на 41,5%) і представлена в таблиці 4.1.

Вплив кількості наповнювача на коефіцієнт технологічної пошкодженості бетону, визначений по поздовжньому перерізу зразків-призм відображено на рисунку 4.1, д (див. також таблицю 4.1). Зміна H від 8 до 10% від маси в'язучого за постійної дисперсності $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ призводить до зниження Kn_L від 0,399 до 0,315 (на 26,7%). Подальше зростання H до 12% викликає збільшення Kn_L до 0,357 (на 13,3%). Аналогічний характер зміни Kn_L спостерігається при постійній $S_y = 200 \text{ м}^2 / \text{кг}$: зменшення Kn_L від 0,354 до 0,332 (на 6,6%) при зміні H від 8 до 10% та зростання Kn_L до 0,363 (на 9,3%) при збільшенні H до 12%. При постійній дисперсності $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ спостерігаємо подібний характер впливу H , тобто зі зменшенням від 0,295 до 0,282 (на 4,6%) зі збільшенням H від 8 до 10% та збільшенням до 0,308 (на 9,2%) при зміні H до 12%. Слід зазначити, що максимальні зміни Kn_L спостерігаються при $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$: зменшення на 26,7% (при зростанні від 8 до 10%) і збільшенні на 13,3% (при зростанні від 10 до 12%). Мінімальні зміни Kn_L спостерігаються за зміни H від 10 до 12% – зменшення на 4,6% ($S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$).

Вплив дисперсності на коефіцієнт технологічної пошкодженості бетону, визначений по поздовжньому перерізу зразків-призм, відображено на рисунку 3, е (див. таблицю 3). Зміна S_y від 100 до 200 м²/кг при витраті $H = 8\%$ призводить до зниження Kn_L від 0,399 до 0,354 (на 12,7%). Подальше зростання S_y до 300 м²/кг викликає значне зниження Kn_L до 0,295 (на 20%). При фіксованій кількості $H = 10\%$ зміна S_y від 100 до 200 м²/кг зумовлює зростання Kn_L від 0,315 до 0,332 (на 5,4%). Подальше збільшення S_y до 300 м²/кг регламентує значне зменшення Kn_L до 0,282 (на 17,7%). При фіксованій кількості $H = 12\%$ спостерігається характер впливу S_y , подібний до впливу $H = 10\%$: збільшення Kn_L від 0,357 до 0,363 (на 1,7%) при зміні S_y від 100 до 200 м²/кг і значне зменшення до 0,308 (на 17,8%) при підвищенні S_y до 300 м²/кг. Необхідно відзначити, що максимальні зміни коефіцієнта Kn_L (17,7; 17,8; 20%) спостерігаються

при варіюванні S_y від 200 до 300 м²/кг та постійному $H = 10, 12$ та 8% відповідно. Мінімальні зміни Kn_L (1,7 та 5,4%) простежуються при переході S_y від 100 до 200 м²/кг та постійному $H = 12$ та 10% відповідно.

З цього випливає, що максимальне значення коефіцієнта технологічної пошкодженості бетону, визначеного по поздовжньому перерізу зразків-призм, досягається при кількості наповнювача $H = 8\%$ від маси в'язучого та дисперсності $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,399), а мінімальне значення – при кількості наповнювача $H = 10\%$: та дисперсності $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,282).

5 ВИСНОВКИ

1. Проведеними дослідженнями встановлено, що технологічна пошкодженість істотно впливає на міцнісні та деформативні властивості бетону.

2. Вивчено вплив кількості мінерального наповнювача ($H = 8, 10$ та 12% від маси в'язучого), а також дисперсності ($S_y = 100, 200$ та 300 м²/кг за кожною кількістю) на технологічну пошкодженість, виражену коефіцієнтами технологічної пошкодженості за площею (Kn_s) та у характерних перерізах (Kn_L). Підтверджується участь наповнювачів в організації структури бетону та формуванні технологічної пошкодженості, зокрема, максимальне значення коефіцієнта технологічної пошкодженості бетону, визначеного за поперечним перерізом зразків-призм, досягається при кількості наповнювача $H = 8\%$: від маси в'язучого та дисперсності $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,367), а мінімальна – при кількості наповнювача $H = 10\%$: та дисперсності $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,26); максимальне значення коефіцієнта технологічної пошкодженості бетону, визначеного по поздовжньому перерізу зразків-призм, досягається при кількості наповнювача $H = 8\%$: від маси в'язучого та дисперсності $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,399), а мінімальне значення – при кількості наповнювача $H = 10\%$: дисперсності $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,282); максимальне значення коефіцієнта технологічної пошкодженості бетону, визначеного за площею зразків-призм, досягається при кількості наповнювача $H = 8\%$ від маси в'язучого та дисперсності $S_y = 100 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (1,36), а мінімальне – при кількості наповнювача $H = 10\%$ дисперсності $S_y = 300 \text{ м}^2 / \text{кг}$ (0,65).

6 ЕТИЧНІ ДЕКЛАРАЦІЇ

Автори не мають будь-яких фінансових чи нефінансових інтересів щодо матеріалів, представлених у цій статті, які слід розкривати.

Література

1. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення.
2. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування
3. ДСТУ-Н Б В.2.6-203:2015 Настанова з виконання робіт при виготовленні та монтажі будівельних конструкцій
4. ДСТУ 9208:2022 Бетони важкі. Технічні умови

5. Дорофеев В.С., Вировий В.М. Технологічна пошкодженість будівельних матеріалів і конструкцій. – Одеса: Місто майстрів, 1998. – 168 с.
6. Олійник Н. В. Вплив технологічної пошкодженості бетону на міцність та тріщиностійкість згинаються залізобетонних елементів за нормальними перерізами : Автореферат. Одеса, 2007. 17 с.
7. Dorofeyev Vitaliy and Pushkar Natalia. The bearing-capacity of precast beams with vertical contact plane // III International Scientific Conference “EcoComfort and current construction issues”, September 14-16, 2022. Lecture Notes in Civil Engineering // Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic National University, 2022. – P. 67-75.
8. Дорофеев В.С., Мироненко І.М., Пушкар Н.В. Вплив складу бетону на формування технологічної пошкодженості і фізико-механічні властивості // Матеріали конференції «Проблеми надзвичайних ситуацій». – Харків, 2022. – С. 59-60.
9. Dorofeyev Vitaliy, Myronenko Igor and Pushkar Natalia. The Effect of Technological Damage on the Properties and Reliability of Construction Materials and Structures / Applied Mechanics and Materials (AMM) ISSN: 1662-7482, Vol. 908, pp 149-156, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 08.2022.
10. Дорофеев В.С., Зінченко Г.В., Пушкар Н.В. Вплив структури і технологічної пошкодженості бетону на повну діаграму деформування // Вісник Херсонського національного технічного університету №4 (83). – Харків, 2022. – С. 9-15.
11. Blikharskyu, Y., Selejdak, J., kopiika, N., Vashkevych, R.: Study of concrete under combined action of aggressive environment and long-term loading. materials 14(21), 6612 (2021). <https://doi.org/10.3390/ma14216612>.
12. Blikharskyu, Z., Sobol, k., markiv, T., Selejdak, J.: Properties of concretes incorporating recycling waste and corrosion susceptibility of reinforcing steel bars. materials 14(10), 2638 (2021).

References

1. DBN V.2.6-98:2009 Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions.
2. DSTU B V.2.6-156:2010 Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete. Design rules.
3. DSTU-N B V.2.6-203:2015 Guidelines for the execution of works in the manufacture and installation of building structures
4. DSTU-N B V.2.6-203:2015 Guidelines for the execution of works in the manufacture and installation of building structures
5. Dorofeev V.S., Vyrovyi V.M. Technological damage of building materials and structures. – Odesa: City of Masters, 1998. – 168 p.
6. Oliynyk N.V. The influence of technological damage of concrete on the strength and crack resistance of flexural reinforced concrete elements with normal cross-sections: Author's abstract. Odesa, 2007. 17 p.
7. Dorofeyev Vitaliy and Pushkar Natalia. The bearing-capacity of precast beams with vertical contact plane // III International Scientific Conference “EcoComfort and current construction issues”, September 14-16, 2022. Lecture Notes in Civil Engineering // Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic National University, 2022. – P. 67-75.
8. Dorofeev V.S., Myronenko I.M., Pushkar N.V. The influence of the composition of concrete on the formation of technological damage and physical and mechanical properties // Proceedings of the conference "Problems of emergency situations". - Kharkiv, 2022. - P. 59-60.
9. Dorofeyev Vitaliy, Myronenko Igor and Pushkar Natalia. The Effect of Technological Damage on the Properties and Reliability of Construction Materials and Structures / Applied Mechanics and Materials (AMM) ISSN: 1662-7482, Vol. 908, pp 149-156, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 08.2022.
10. Dorofeev V.S., Zinchenko G.V., Pushkar N.V. Influence of the structure and technological damage of concrete on the full deformation diagram // Bulletin of the Kherson National Technical University No. 4 (83). - Kharkiv, 2022. - P. 9-15.

11. Blikharskyu, Y., Selejdak, J., kopiika, N., Vashkevych, R.: Study of concrete under combined action of aggressive environment and long-term loading. materials 14(21), 6612 (2021). <https://doi.org/10.3390/ma14216612>.
12. Blikharskyu, Z., Sobol, k., markiv, T., Selejdak, J.: Properties of concretes incorporating recycling waste and corrosion susceptibility of reinforcing steel bars. materials 14(10), 2638 (2021).

Олійник Наталія Володимирівна

Одеська державна академія будівництва та архітектури,

к.т.н., доцент

вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, Україна, 65029

natali@odaba.edu.ua

ORCID:0000-0003-4492-7003

Якушева Юлія Володимирівна

Одеська державна академія будівництва та архітектури,

асистент

вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, Україна, 65029

yakusheva.j@odaba.edu.ua

ORCID:0009-0000-6010-9559

Для посилань:

Олійник Н. В., Якушева Ю. В.. Особливості оцінювання технологічної пошкодженості бетону. Механіка та математичні методи, 2024. Т. VI. №. 2. С. 109–123.

For references:

N. Oliynuk, Yu. Yakusheva. (2024). Features of assessment of technological damage of concrete. Mechanics and Mathematical Methods. VI (2). 109–123.